Über die Verteilung der Festigkeitseigenschaften im Querschnitt von Walzprofilen und ihre Bedingtheit.

Von der

Technischen Hochschule zu Breslau

zur Erlangung der Würde eines Doktor-Ingenieurs

genehmigte

DISSERTATION.

Vorgelegt von

Studienrat Dipl.-Ing. Erich Seemann

aus Freiberg (Sa.)

Referent: Prof. Dr. Sauerwald.

Korreferent: Prof. Dr.-Ing. E. h. W. Tafel.

Tag der mündlichen Prüfung: 20. Juni 1929.

Über die Verteilung der Festigkeitseigenschaften im Querschnitt von Walzprofilen und ihre Bedingtheit.

Von der

Technischen Hochschule zu Breslau
zur Erlangung der Würde eines Doktor-Ingenieurs

genehmigte

DISSERTATION.

Vorgelegt von

Studienrat Dipl.-Ing. Erich Seemann
aus Freiberg (Sa.)

Referent: Prof. Dr. Sauerwald.
Korreferent: Prof. Dr.-Ing. E. h. W. Tafel.

Tag der mündlichen Prüfung: 20. Juni 1929.

* 20355

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

Inhaltverzeichnis

Seite

Einleitung

Die Unterschiede der mechanischen Eigenschaften in den einzelnen Querschnitten von Walzprofilen und deren Abhängigkeit von dem jeweiligen Verformungsgebiet 1

I. Art der Probenentnahme und die Abmessungen der Probestäbe für den Zerreißversuch 2

II. Beobachtungen während des Zerreißversuches, die Ergebnisse desselben in Zahlentafeln und graphischen Darstellungen 2

III. Nachprüfung der Ergebnisse der Zerreißversuche durch Härteuntersuchungen nach Brinell an den einzelnen Profilquerschnitten 4

IV. Die chemische Untersuchung auf Seigerungsstoffe 5

V. Baumann-Abdrücke der einzelnen Profilquerschnitte im Vergleich mit den Ergebnissen der chemischen Analyse 6

VI. Zerreißversuche an bei 600° C ausgeglühten Proben. Vergleich mit den Ergebnissen an ungeglühten Proben 6

VII. Versuche über die Härte an bei 600° C bzw. 770° C geglühten Proben. Vergleich der Ergebnisse mit den Werten von ungeglühtem Material. Nachweis von Verfestigungserscheinungen 7

VIII. Metallographische Gefügeuntersuchung des Ausgangsmaterials. Korngrößenmessungen 10

IX. Einfluß der Koagulation des Zementites auf die technologischen Eigenschaften 10

X. Ergänzender Bericht über Sonderkerbzähigkeits- u. Härtebestimmungen 10

Diskussion der Ergebnisse an Hand der Literatur 11

Zusammenfassung 12

Allen am Zustandekommen der vorliegenden Arbeit beteiligten Stellen der Vereinigten Oberschlesischen Hüttenwerke A.-G. und der Staatl. Maschinenbau- und Hüttenschule in Gleiwitz, insbesondere Herrn Chefchemiker Gabiersch, spreche ich meinen verbindlichsten Dank aus.

Es ist mir ein Bedürfnis, Herrn Professor Dr. Sauerwald für die Anregung zu dieser Arbeit, sowie für die Ratschläge bei ihrer Anfertigung meinen ergebensten Dank auszusprechen.

Einteilung.

Die vorliegende Arbeit ist aus zwei verschiedenen Gesichtspunkten heraus entstanden.

Bei der Untersuchung eines fehlerhaften Profils erhob sich die Frage, in welchem Maße normalerweise in komplizierten Profilen Unterschiede in den Festigkeitseigenschaften auftreten. Es wurde festgestellt, daß das Material darüber keineswegs zahlreich ist, und daß es deshalb vom rein materialprüfungstechnischen Standpunkte aus gerechtfertigt erschien, systematisch Tatsachen darüber zu sammeln. Natürlich steht bereits im Hintergrunde des so rein empirisch aufgefaßten Problems die Frage, wodurch diese Unterschiede im Querschnitt von Profilen bedingt sind, und dies führt zu der zweiten Gruppe von Überlegungen, die in dieser Arbeit wichtig werden.

In Untersuchungen über das Verhältnis von Warm- und Kaltverformung[1]) wurde versucht, experimentelle Grundlagen für eine rationelle Trennung dieser beiden Verformungsgebiete zu schaffen. Dabei wurde es als zweckmäßig gefunden, die Warmverformung gegenüber der Kaltverformung durch die bei ihr fehlende Verfestigung und Deformationsfaserstruktur zu definieren. Diese Definition entspricht im allgemeinen den Eigenschaften, wie man sie den kalt- und warmverformten Materialien nach der gewöhnlichen technischen Bezeichnungsweise zuschreibt. Gerade diese Untersuchungen hatten jedoch gezeigt, wie leicht im besonderen Falle, wenn die Schlußbearbeitung an der unteren Grenze des Warmverformungsgebietes vorgenommen wird, die Unterschreitung dieser Grenze möglich ist. Es treten dann Verfestigungserscheinungen in dem nach dem größeren Teile des Bearbeitungsvorganges als warmverarbeitet bezeichneten Stück auf. Wenn diese Verfestigungen sich über den Querschnitt verschieden verteilen, muß, abgesehen von der Gesamtverfestigung, eine Verschiedenheit der Festigkeitseigenschaften in Teilen des Querschnittes zu konstatieren sein. Die Unterschreitung des Warmverformungsgebietes wird besonders leicht an stark verformten Stellen erfolgen können, da hier im allgemeinen auch die Deformationsgeschwindigkeit groß sein wird und diese die Grenze der Warmverformung zu höheren Temperaturen verschiebt. Sie wird ferner bevorzugt an solchen Stellen eintreten, wo eine starke Abkühlung des Materials infolge dünner Querschnitte und großer Oberflächen vorhanden ist.

Die besondere Aufgabe dieser Arbeit ist es, zu untersuchen, ob in normal gewalztem Material sich Anzeichen dafür auffinden lassen, daß die eben gekennzeichneten Vorgänge eintreten. Zu diesem Zwecke war es nötig, falls sich Verschiedenheiten von Festigkeitseigenschaften im Querschnitt aufzeigen ließen, festzustellen, ob dieselben eindeutig, so, wie oben angedeutet, mit dem Verformungsvorgang zusammenhängen, oder mit anderen Umständen, die ebenfalls eine verschiedene Festigkeit im Querschnitt herbeiführen können. Bisher sind im allgemeinen die Festigkeitsunterschiede nur in Zusammenhang gebracht worden mit der ungleichmäßigen Verteilung der Beimengungen, wie sie durch den Kristallisationsvorgang bedingt ist. Nur vereinzelt sind noch innere Spannungen in die Diskussion einbezogen.

Diese Fragen wurden z. T. dadurch zu klären gesucht, daß man Material mit verschieden starker Seigerung untersuchte, wobei dann bei geringen Seigerungen, im Falle, daß diese maßgebend für die Festigkeitsverteilung waren, die Unterschiede in den mechanischen Eigenschaften fehlen müßten. Vor allem wurden aber Wärmebehandlungen und die Untersuchung ihres Einflusses auf die Festigkeitsverteilung hier herangezogen. Da die Diffusionsgeschwindigkeit der im Stahl seigernden Elemente im allgemeinen gering ist, andererseits Verfestigungen bei Wahl einer geeigneten Glühtemperatur ziemlich schnell zurückgehen, konnte man erwarten, die verschiedenartig bedingten Anteile der Heraufsetzung des Formänderungswiderstandes und der Herabsetzung des Formänderungsvermögens nach einer Glühbehandlung unterscheiden zu können. Nach derselben mußten die durch Kaltverformung hervorgerufenen Verfestigungen verschwunden sein, die durch chemische Verschiedenheit bedingten Unterschiede in den Festigkeitseigenschaften jedoch im wesentlichen verblieben sein.

[1]) Sauerwald u. Knehans, Z. f. anorg. allg. Chemie Bd. 140, S. 227, 1924. Sauerwald u. Giersberg, Centralblatt d. Hütten- u. Walzw. Bd. 30, S. 501, 1926. Sauerwald, Michalsky u. Neuendorff, Archiv f. d. Eisenhüttenw. Wl. Heft 11, 1928. Sauerwald, Metallwirtschaft, Bd. 7, S. 1353, 1928.

I. Art der Probenentnahme und Abmessungen der Probestäbe für die Zerreißversuche.

Zur Durchführung der Untersuchungen wurden die Normalschienenprofile S 49 und Profil 8, sowie die Baueisenprofile NP 8/8 ⊥ u. NP 20 ⊏, ⊥ herangezogen. Das Schienenmaterial wurde vom Rohblock nach Abschneiden von etwa 10% der Länge am Kopf des Blockes in einer Hitze bis zum Fertigfabrikat heruntergewalzt, sodann in der Luft abgekühlt und gerichtet. Das Baueisenmaterial wurde dagegen vorgeblockt, fertiggewalzt, sodann ebenfalls an der Luft abgekühlt und gerichtet. Von jedem Profil wurden je ca. 5 bis 6 m zur Untersuchung bereitgestellt und aus jedem Abschnitt, je nach der Größe des Profilquerschnittes, 2 bis 5 Flachzerreißproben in der Walzrichtung herausgeschnitten. Zwischen jedem Abschnitt wurde ein Zwischenstück von 30 mm bzw. 200 mm Länge für spätere Untersuchungen aufgehoben. Die Lage der Probenausschnitte wurde in jedem Abschnitt genauestens beibehalten. Die ausgeschnittenen Flachzerreißproben waren Proportionalstäbe mit der errechneten Meßlänge von 126,5 mm und dem gewählten Verhältnis: Stärke zu Breite, wie 1 : 5, entsprechend den Vorschriften des Materialprüfungsamtes. Sämtliche Proben waren auf allen Seiten bearbeitet.

II. Beobachtungen während der Zerreißversuche, die Ergebnisse derselben in Zahlentafeln und graphischen Darstellungen.

Die Zerreißversuche wurden an einer 20 ts-Zerreißmaschine von Mohr & Federhaff durchgeführt unter möglichst gleichmäßiger zunehmender Belastung und genauer Einhaltung einer bestimmten Versuchsdauer vom Beginn des Versuchs bis zum Bruch der Stäbe. Sie betrug i. M. 3 bis 4 mm pro Minute. Zum Einspannen der Probestäbe dienten keilförmige aufgehauene Spannbacken.

Die folgenden Zahlentafeln 1 bis 5 zeigen die Mittelwerte aller gefundenen mechanischen Werte in den angegebenen Profilen und deren einzelnen Zonen, und zwar ist jeder Mittelwert aus fünf hintereinander ausgeschnittenen Versuchsstäben entstanden, wie auch aus den Kurventafeln I bis V hervorgeht.

Zahlentafel 1.

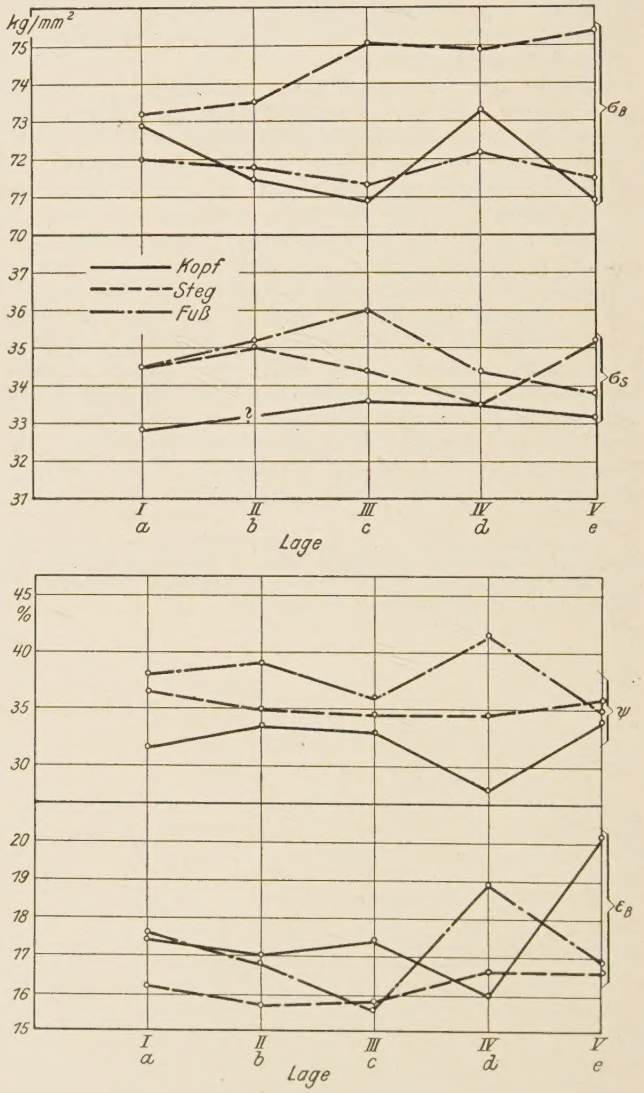
Mittelwerte aller mechanischen Werte vom Schienenprofil 8.

	Streckgrenze kg/mm²	Bruchgrenze kg/mm²	Dehnung %	Kontraktion %
Kopf . . .	33,26	71,90	17,6	32,02
Steg	34,21	74,42	16,17	35,3
Fuß	34,8	71,78	17,16	37,78

Zahlentafel 2.

Mittelwerte aller mechanischen Werte vom Schienenprofil S 49.

	Streckgrenze kg/mm²	Bruchgrenze kg/mm²	Dehnung %	Kontraktion %
Kopf . . .	32,6	67,38	18,08	32,6
Steg	33,0	65,38	19,1	39,3
Fuß	32,6	66,42	18,88	37,2

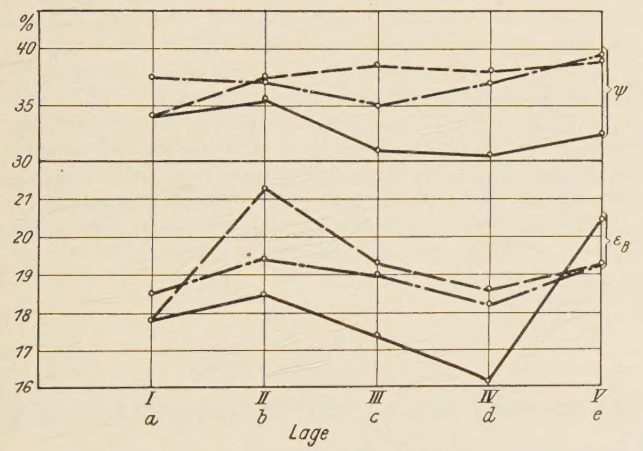


Tafel I. Schienenprofil 8.

Zahlentafel 3.

Mittelwerte aller mechanischen Werte vom Profil NP 8/8 ⊥.

	Streckgrenze kg/mm²	Bruchgrenze kg/mm²	Dehnung %	Kontraktion %
Steg	27,5	39,76	27,12	55,9
Fuß	27,0	38,18	26,72	56,0



Tafel II. Schienenprofil S 49.

Zahlentafel 4.

Mittelwerte aller mechanischen Werte vom Profil NP ⌶ 20.

	Streckgrenze kg/mm²	Bruchgrenze kg/mm²	Dehnung %	Kontraktion %
Ob. Flansch	24,3	34,7	31,5	61,6
Steg b	24,6 i.M. =	34,9 i.M. =	27,3 i.M. =	61,2 i.M. =
Steg c	25,9 25,3	35,5 35,2	28,5 27,9	60,2 60,7
Unt. Flansch	24,4	33,7	31,9	65,4

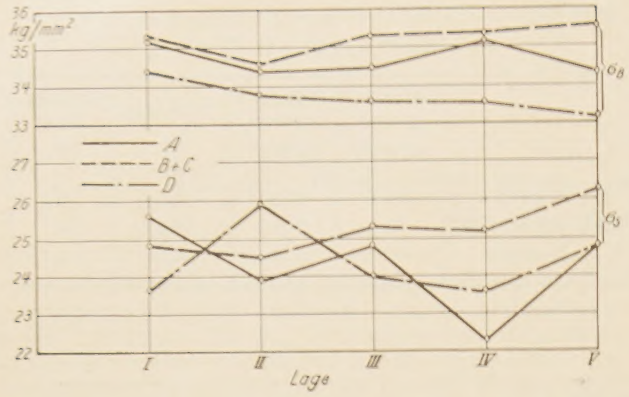
Zahlentafel 5.

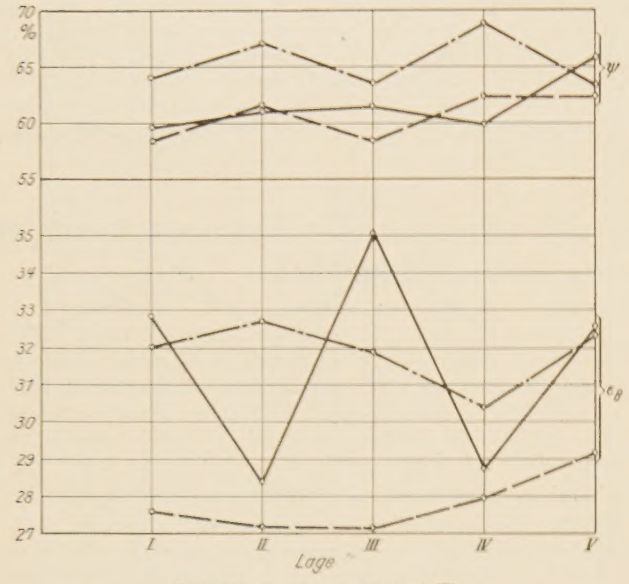
Mittelwerte aller mechanischen Werte vom Profil NP ⊏ 20.

	Streckgrenze kg/mm²	Bruchgrenze kg/mm²	Dehnung %	Kontraktion %
Ob. Flansch . .	25,6	37,54	24,74	55,2
Steg (B+C) i.M.	27,4	39,09	25,24	60,1
Unt. Flansch .	25,6	37,54	24,34	53,9

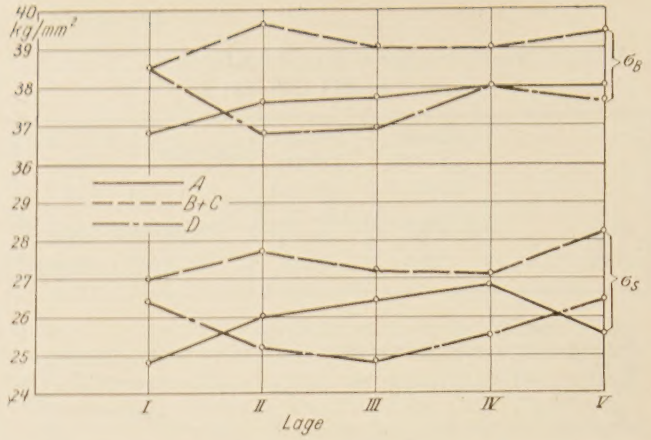
Tafel III. Baueisenprofil NP 8/8 ⊥.

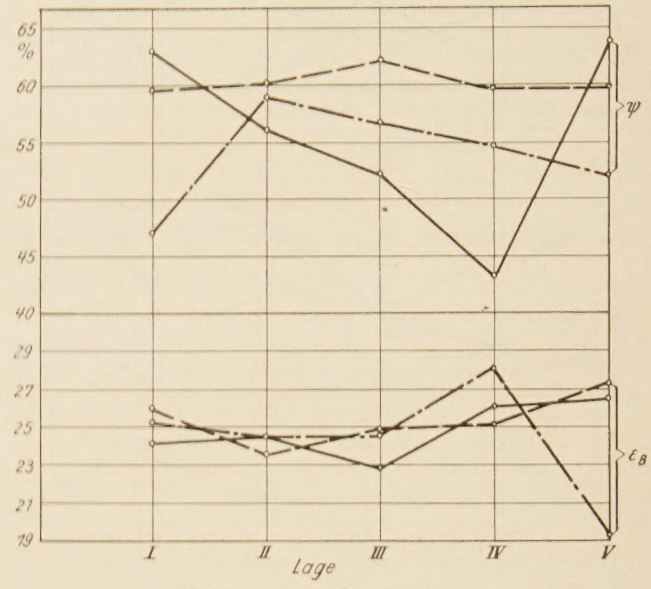
Die Feststellungen der mechanischen Werte der einzelnen Profile haben ergeben, daß in jedem Profil für sich die Streckgrenzen-, Bruchgrenzen-, Dehnungs- und Kontraktionswerte der hintereinander genommenen Proben schon unter sich stark streuen, z. B. bei dem Schienenprofil 8 die Dehnungs- und Kontraktionswerte im Kopf und im Fuß, die Streckgrenzenwerte im Steg; im Schienenprofil S 49 die Streckgrenzen-, Dehnungs- und Kontraktionswerte im Kopf und im Steg. Bei den weicheren Baueisensorten wurden starke Streuungen der Dehnungs- und Kontraktionswerte ermittelt, und zwar bei dem NP 8/8 ⊥-Eisen sowohl im Steg, wie im Fuß, bei dem NP 20 ⌶-Eisen im oberen Flansch, bei dem NP 20 ⊏-Eisen in





Tafel IV. Baueisenprofil NP 20 I.





Tafel V. Baueisenprofil NP 20 ⊏.

beiden Flanschen und im Steg; auch läßt sich in keinem der fünf untersuchten Profile eine gleichmäßige Zu- bzw. Abnahme der Werte in der Reihenfolge der Proben feststellen.

Beim Vergleich der Durchschnittswerte der Proben untereinander, die verschiedenen Zonen entnommen wurden, konnten höhere Festigkeitswerte im Stegmaterial bei allen Profilen festgestellt werden, mit Ausnahme der Bruchfestigkeitswerte für das Schienenprofil S 49 und der Streckgrenzenwerte des Schienenprofils 8. Die Abweichungen bei S 49 finden ihre Klärung bei der folgenden Nachprüfung der Zerreißversuche durch die Prüfung auf Härte. Die Dehnungs- und Kontraktionswerte im Steg im Vergleich mit den anderen Zonen variieren bei allen Profilen, einmal sind sie gleich, andermal liegen sie wenig darüber oder darunter.

III. Nachprüfung der Ergebnisse der Zerreißversuche durch Härteuntersuchungen nach Brinell an den einzelnen Profilquerschnitten.

Um die durch Zerreißversuche erhaltenen mechanischen Werte auf ihre Zuverlässigkeit nachzuprüfen, wurde nun von jedem einzelnen Profil das Zwischenstück, das beim Ausschneiden der ersten beiden Proben übrig geblieben war, einer eingehenden Untersuchung auf Härte nach Brinell unterzogen, und zwar betrug für die beiden Schienenprofile die Belastung je 3000 kg, für das Baueisenprofil NP 8/8 ⊥ 1000 kg und für das NP 20 I und NP 20 ⊏ je 1500 kg. Das Prüfverfahren hatte vor allem den Vorteil, daß es hierbei auch möglich war, nicht nur Härtewerte für die ganzen Zonen Kopf, Steg und Fuß bei den Schienen- bzw. Steg und Flansch bei den Baueisen-Profilen zu erhalten, sondern auch solche für die Übergangsstellen Steg/Kopf und Fuß bzw. Steg/Flansch, wo eine Entnahme von Zerreißproben wegen des zu kleinen Querschnittes nicht möglich war. Die erhaltenen Härtewerte als Mittel von 3 bis 15 Einzelversuchen zeigen die Tafeln 6 bis 10.

Zahlentafel 6.

Ergebnisse der Härteversuche nach Brinell am Schienenprofil S 49.

Lage der Proben im Querschnitt	Anzahl der Einzelversuche	Härtemittelwerte
Kopf . . .	15	189
Steg	6	192
Fuß	13	186

Zahlentafel 7.

Ergebnisse der Härteversuche nach Brinell am Schienenprofil 8.

Lage der Proben im Querschnitt	Anzahl der Einzelversuche	Härtemittel-werte
Kopf . . .	9	201
Steg	4	216
Fuß	8	205

Zahlentafel 8.

Ergebnisse der Härteversuche nach Brinell am Baueisenprofil NP 8/8 ⊥.

Lage der Proben im Querschnitt	Anzahl der Einzelversuche	Härtemittel-werte
Steg	3	93,3
Fuß	5	84,9

Das Ergebnis der Härteprüfung von S 49 (Tafel 6) zeigt, daß der oben genannte abweichende Bruchgrenzen-Mittelwert im Steg eine Besonderheit darstellt, denn der Härte-Mittelwert liegt hier im Steg höher, als im Kopf und Fuß.

Bei S 8 und NP 8/8 liegen die Härten im Mittel im Steg höher, als im Kopf und Fuß und sind somit in Übereinstimmung mit den Zerreißversuchen.

Z[illegible]

Ergebnisse der Härteversuche nach Brine[illegible] am Baueisenp[illegible] I

Lage der Proben im Querschnitt	Anzahl der Einzelversuche	Härte[illegible] werte
Ob. Flansch .	10	[illegible]
Steg	8	[illegible]
Unt. Flansch .	10	[illegible]

Z[illegible]

Ergebnisse der Härteversuche nach [illegible] am Baueisenprofil NP 20 ⊏.

Lage der Proben im Querschnitt	Anzahl der Einzelversuche	[illegible]
Ob. Flansch	[illegible]	[illegible]
Steg	[illegible]	[illegible]
Unt. Flansch .	[illegible]	[illegible]

Bei den Profilen NP 20 wurden im Steg keine höheren Härten gefunden, sogar bei NP 20 I geringere Werte, doch dürfte bei letzteren Werten der für die Härtebestimmung zu geringe Querschnitt eine Rolle spielen.

IV. Die chemische Untersuchung auf Seigerungsstoffe.

Um zunächst festzustellen, ob der Werkstoff in jedem Teil seines Querschnittes annähernd gleiche chemische Zusammensetzung hat und ob die Nebenbestandteile im Material, die vor allem für die Seigerung in Betracht kommen, also vor allem das Eisenphosphid und das Eisenkarbid in gleichmäßiger Verteilung vorliegen oder nicht, ob sich lokale Anhäufungen derselben vorfinden und in welcher Höhe, wurden zunächst chemische Analysen von dem Untersuchungsmaterial vorgenommen, und zwar wurde in der Weise vorgegangen, daß Späne von mehreren Zerreißproben aus einer Zone zur Analyse verwendet wurden, um die früher erhaltenen mechanischen Werte der Zerreißversuche den Ergebnissen der Analyse gegenüberstellen zu können. Die Zahlentafeln 11 bis 15 enthalten die Resultate der chemischen Analyse auf C, P, S und Si in den einzelnen Zonen Kopf, Steg und Fuß der Profile.

Zahlentafel 11.

Analysen-Ergebnisse vom Schienenprofil 8.

Probenentnahme im	Analysen-Mittelwerte in %		
	C	P	S
Kopf	0,479	0,0889	0,0498
Steg	0,475	0,0872	0,0514
Fuß	0,472	0,0822	0,0464

Zahlentafel 12.

Analysen-Ergebnisse vom Schienenprofil S 49.

Probenentnahme im	Analysen-Mittelwerte in %		
	C	P	S
Kopf	0,504	0,0398	0,041
Steg	0,488	0,0396	0,039
Fuß	0,491	0,0404	0,040

Zahlentafel 13.

Analysen-Ergebnisse vom Baueisenprofil NP 8/8 ⊥.

Probenentnahme im	Analysen-Mittelwerte in %		
	C	P	S
Steg	0,120	0,034	0,073
Fuß	0,122	0,029	0,059

Zahlentafel 14.

Analysen-Ergebnisse vom Baueisenprofil NP 20 I.

Probenentnahme im	Analysen-Mittelwerte in %		
	C	P	S
Ob. Flansch . .	0,100	0,026	0,033
Steg	0,091	0,021	0,031
Unt. Flansch .	0,083	0,020	0,027

Zahlentafel 15.

Analysen-Ergebnisse vom Baueisenprofil NP 20 ⊏.

Probenentnahme im	Analysen-Mittelwerte in %		
	C	P	S
Ob. Flansch . .	0,106	0,023	0,021
Steg	0,122	0,028	0,048
Unt. Flansch .	0,105	0,024	0,038

Zusammenfassung: Die obigen Zahlentafeln ergeben eine Übersicht über die prozentuale Höhe der Fremdstoffe in jeder einzelnen Profilzone und zeigen, daß die prozentualen Abweichungen in den beiden Schienenprofilen und dem NP 20 I-Eisen verhältnismäßig sehr geringe sind und stärkere Abweichungen nur bei den Baueisenprofilen NP 8/8 ⊥- und NP 20 ⊏-Eisen festgestellt wurden.

V. Baumann-Abdrücke der einzelnen Profilquerschnitte im Vergleich mit den Ergebnissen der chemischen Analyse.

Die Verteilung der Seigerungen im Querschnitt der Profile steht im engen Zusammenhang mit den Festigkeitseigenschaften in denselben. Um den Anteil der einzelnen Profilzonen an der Seigerung festzustellen, wurden nun von jedem Profilquerschnitt Baumann-Proben genommen.

Die Abdrücke der beiden Schienenprofile zeigen beide eine mittelstarke bis schwache Seigerungszone in gleichmäßiger Verteilung, und zwar bei Profil 8 besonders im Steg und im Übergang Steg/Fuß, bei Profil S 49 auch eine solche im Übergang Steg/Kopf; bei den Baueisenprofilen treten die Seigerungen bei dem T-Eisen stark, bei dem U-Eisen weniger stark hervor, bei letzterem jedoch an den Übergängen Steg/Flansch sogar bis fast an die Oberfläche, während bei dem ⌶-Eisen kaum von einer schwachen Seigerung gesprochen werden kann. Bei dem Baueisenprofil NP 8/8 ⊥ liegt ein Fall umgekehrter Seigerung vor! Die makroskopische Untersuchung nach Heyn mit Kupferammonchlorid ergab kein wesentliches Hervortreten der P-Seigerungen.

Zusammenfassung zu Abschn. IV. u. V.:

Eine Gegenüberstellung der Baumann-Abzüge mit den ermittelten Analysenwerten für P und S führt zu demselben Ergebnis. Bei den Schienenprofilen differieren die analytischen Werte in den einzelnen Zonen Kopf, Steg und Fuß kaum untereinander, anderseits tritt auch die Seigerung in den Abdrücken wenig hervor. Bei den Baueisenprofilen NP 8/8 ⊥ und NP 20 ⊏ kommen jedoch die wesentlich höheren P- und S-Mittelwerte im Steg auch im Abdruck deutlich zum Vorschein. Bei dem Profil NP 20 ⌶ differieren die Analysen-Mittelwerte nur wenig, im Abzug kommen die Seigerungsstreifen jedoch stärker zum Ausdruck.

VI. Zerreißversuche an bei 600° C ausgeglühten Proben. Vergleich mit den Ergebnissen an ungeglühten Proben.

Um die Frage klarzustellen, ob unter anderem auch das Auftreten von Verfestigungserscheinungen als Ursache der verschiedenen mechanischen Eigenschaften angesehen werden kann, wurden weiter von dem von jedem Profil übriggebliebenen Material neue Proben für den Zerreißversuch abgeschnitten und diese bei einer Temperatur von 600° C ausgeglüht. Zu diesem Zwecke erwies es sich als notwendig, daß die einzelnen Stücke in ihrer Längsrichtung in drei Teile (Kopf bzw. Flansch, Steg und Fuß) zerschnitten wurden, da der verwendete elektrische Muffelofen zu klein zur Aufnahme der ganzen Stücke war. Diese Teilstücke wurden darauf in den kalten Ofen eingesetzt und mit diesem auf 600° C gleichmäßig und langsam erwärmt, was durchschnittlich 3 bis 3½ Stunden dauerte. Die Proben wurden sodann ½ Stunde auf dieser Temperatur belassen und sodann mit dem abgestellten Ofen langsam abgekühlt. Nach Erreichung der Zimmertemperatur wurden aus den Stücken Flachzerreißstäbe von den gleichen Abmessungen, wie bei den ungeglühten Stäben, herausgeschnitten und dem Zerreißversuch unterworfen. Die Zahlentafeln 16 bis 19 zeigen die Ergebnisse dieser Versuche.

Zahlentafel 16.

Ergebnisse der Zerreißversuche am Schienenprofil 8.
(bei 600° C geglüht)

Abschnitte	Querschnitte	Kopf		Steg		Fuß	
a	K = 125,0 S = 125,0 F = 125,0	B = 68,9 St = 36,8	D = 15,8 Ko = 32,8	B = 69,1 St = 38,8	D = 14,6 Ko = 33,4	B = 68,4 St = 36,9	D = 16,5 Ko = 35,0
b	K = 124,75 S = 118,28 F = 125,5	B = 69,2 St = 37,5	D = 17,0 Ko = 34,5	B = 66,8 St = 37,9	D = 15,4 Ko = 36,8	B = 63,0 St = 37,0	D = 15,0 Ko = 40,3

Zahlentafel 17.

Ergebnisse der Zerreißversuche am Schienenprofil S 49.
(bei 600° C geglüht)

Abschnitte	Querschnitte	Kopf		Steg		Fuß	
a	K 123,75 S 124,50 F 123,26	B 66,0 St 35,9	D = 14,99 Ko = 33,0	B 63,2 St 35,5	D = 15,79 Ko = 39,4	B = 66,0 St = 35,0	D = 17,3 Ko = 36,7
b	K 125,00 S 122,86 F 127,50	B 65,5 St 33,5	D = 15,4 Ko 34,6	B 65,0 St 35,8	D = 20,9! Ko = 38,4	B = 61,6 St = 34,8	D = 22,9*) Ko = 41,4*)

Bem.: *) ist außerhalb der Meßlänge gerissen und wurde nochmals eingespannt und gerissen!

Zahlentafel 18.

Ergebnisse der Zerreißversuche am Baueisenprofil NP 8/8 ⊥.
(bei 600° C geglüht)

Abschnitte	Querschnitte in mm²	Steg		Fuß	
I	S = 125,0 F = 125,0	B = 37,6 St = 22,5	D = 24,8 Ko = 54,3	B = 34,4 St = 23,0	D = 34,2! Ko = 64,2!

Die Ergebnisse der Zerreißversuche mit den bei 600° C geglühten Proben erlauben nicht ohne weiteres ein sicheres Urteil darüber, ob tatsächlich Verfestigungserscheinungen in dem untersuchten Werkstoff vorhanden waren oder nicht, und wenn es der Fall war, ob größere Verfestigungen in einzelnen Teilen der Profilquerschnitte überhaupt vorliegen und wo sie dann anzutreffen sind. Wenn wirklich in den stärker verformten Teilen der Querschnitte, also vor allem im Steg und den Übergängen vom Steg zu Flansch bzw. zu Kopf und Fuß bei den Schienenprofilen, Verfestigungen vorlagen, so müßten dieselben durch das Ausglühen ganz oder teilweise aufgehoben worden sein und es müßte sich dann zum mindesten in dem stark verformten Stegmaterial ein besonders starkes Absinken der Festigkeitswerte nach dem Glühen ergeben. Die Kurven für die Streckgrenze, Bruchgrenze, Dehnung und Kontraktion lassen zunächst hierin keinerlei Gesetzmäßigkeit erkennen. Im allgemeinen fallen die Festigkeitswerte durch das Glühen in den einzelnen Zonen ziemlich gleichmäßig, während die Dehnungs- und Kontraktionswerte sehr stark schwanken, bei einzelnen Profilen (Profil 8 und S 49) nach dem Glühen höher liegen als vorher.

Zu beachten ist allerdings bei den vorliegenden Ergebnissen, daß das ungleiche Verhältnis der Anzahl der Proben im ungeglühten und geglühten Zustand nicht zu einem engeren Vergleich berechtigt, da dadurch leicht Zufallswerte zu Fehlschlüssen führen können und die Proben, infolge ihrer besonderen Lage im Profilquerschnitt, keinen Aufschluß über das Verhalten der Übergangszonen beim Glühversuch geben konnten.

Zahlentafel 19.

Ergebnisse der Zerreißversuche am Baueisenprofil NP 20 ⊏.
(bei 600° C geglüht)

Abschnitte	Querschnitte in mm²	Flansch A O		Steg B		Steg C		Flansch DU	
I	ao = 125,0 b = 125,0 c = 125,0 du = 125,0	B = 35,4 St = 22,8	D = 32,7 Ko = 62,1	B = 38,1 St = 24,0	D = 31,2 Ko = 61,9	B = 37,4 St = 24,0	D = 31,2 Ko = 55,2	B = 34,2 St = 22,9	D = 29,6 Ko = 63,0

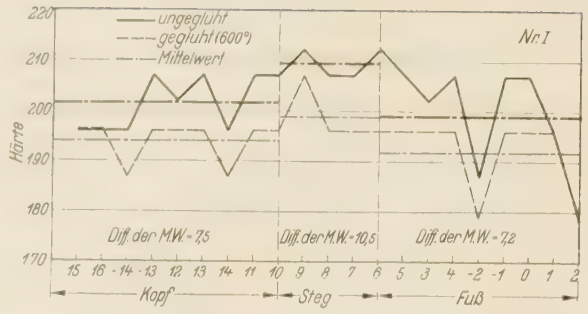
VII. Versuche über die Härte an bei 600° C bzw. 770° C geglühten Proben. Vergleich der Ergebnisse mit den Werten von ungeglühtem Material. Nachweis von Verfestigungserscheinungen.

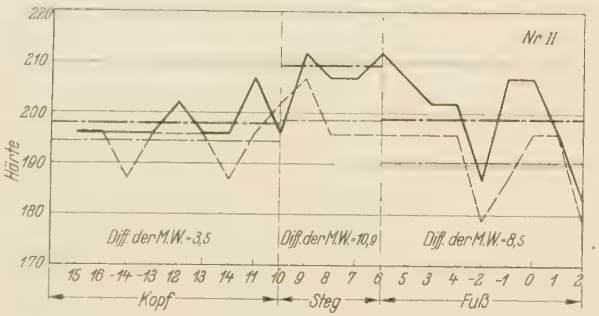
Die angedeuteten Fehlerquellen bei Beurteilung der Ergebnisse der Zerreißversuche mit geglühten Proben führten dazu, die Glühversuche zu wiederholen unter Zugrundelegung von möglichst vielen Werten in den einzelnen Zonen einschließlich der Übergangszonen. Zu diesem Zwecke wurden eingehende Härteversuche nach Brinell an ungeglühten und ebenfalls bei 600° C geglühten Proben vorgenommen, und als Untersuchungsmaterial ausschließlich die Zwischenstücke verwendet, die beim Abschneiden der früheren Zerreißproben übriggeblieben waren, um nach Möglichkeit die neuen Härtewerte den früheren Ergebnissen der Zerreißversuche gegenüberstellen zu können. Je drei bis vier Zwischenstücke von jedem Profil in Stärke von ca. 50 mm wurden auf einer Seite eben gehobelt und mittels Feile und Schmirgelpapier für den Härteversuch vorbereitet. Darauf wurden auf dieser Seite des Abschnittes Härteproben genommen, und zwar an denselben Stellen der einzelnen Querschnitte, wie bei den früheren Härtemessungen; auch die Belastungen blieben dieselben.

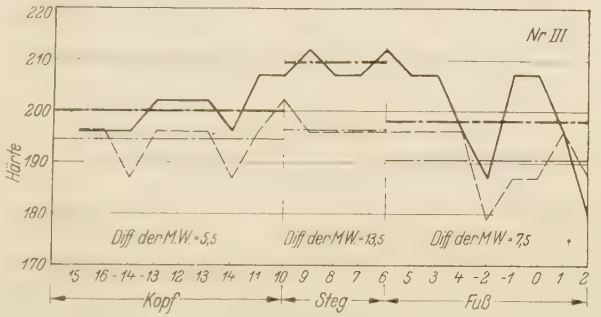
Danach wurden diese Stücke im elektrischen Muffelofen ausgeglüht, und zwar immer je 3 bis 4 Stücke eines harten und eines weichen Profiles zusammen. (Profil 8 + NP 8/8 ⊥ und Profil S 49 + NP 20 ⊏.) Erst nachdem der Ofen auf ca. 350° C erwärmt worden war, wurden alle 6 bis 8 Proben in die Muffel eingesetzt und der Ofen nun allmählich soweit erwärmt, bis das in einer Bohrung des Schienenkopfes befindliche Thermoelement 600° C anzeigte. Darauf wurden die Proben 15 Min. lang dieser Temperatur, die wohl bei normalen C-Stählen zur Entfernung von Spannungen ausreichen dürfte, ausgesetzt, dann der Ofen abgestellt und die Proben mit dem Ofen zusammen abgekühlt unter Aufnahme der jeweiligen Abkühlungskurven. Die daraus ermittelte Abkühlungsgeschwindigkeit betrug 3,14 °/Min. bei dem Glühversuch mit Profil 8 und NP 8/8 ⊥ und 2,3 °/Min. bei Profil S 49 und NP 20 ⊏. An den so ausgeglühten Proben wurden nun nochmals die gleichen Härteuntersuchungen vorgenommen und dazu die andere Seite der Proben benutzt. Vor der Härteuntersuchung der einzelnen Profilflächen wurden dieselben 5 mm tief abgehobelt, da beim Glühen eine teilweise Entkohlung der äußeren Materialschichten zu befürchten war. Die Untersuchung auf Härte wurde sodann an den genau entsprechenden gleichen Stellen der Querschnittsflächen und mit derselben Belastung vorgenommen, wie vorher im ungeglühten Zustande auf der anderen Seite.

Die Ergebnisse der Glühversuche für die Schienenprofile 8 und S 49, sowie die Baueisenprofile NP 8/8 ⊥ und NP 20 ⊏ (das Normalprofil NP 20 ⊥ wurde nicht mit untersucht) sind in den Kurventafeln VI bis IX graphisch aufgezeichnet.

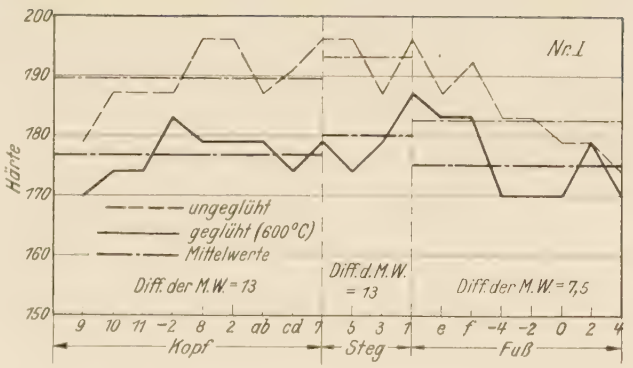
Mit dem Profil S 49 wurde ferner je ein Sonder-Glühversuch bei 770° C und bei 780° C mit darauffolgender Bestimmung der Härtewerte vorgenommen; desgleichen für das Profil NP 20 ⊏ bei 770° C, um sicher zu sein, daß alle evtl. vorhandenen Verfestigungserscheinungen durch den Glühprozeß bei 600° C erfaßt wurden. Die Versuche wurden in derselben Weise wie bei den 600° C/Glühungen durchgeführt, nur wurden die Proben hierbei kalt in den auf ca. 650° C erhitzten Ofen eingesetzt und nach Erwär-

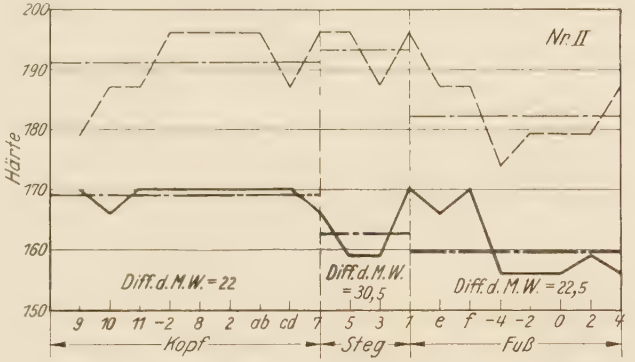


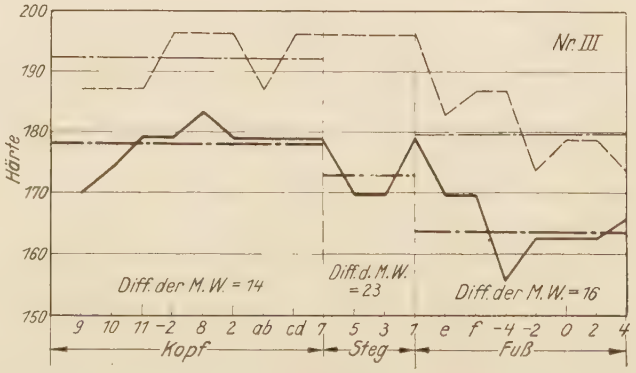




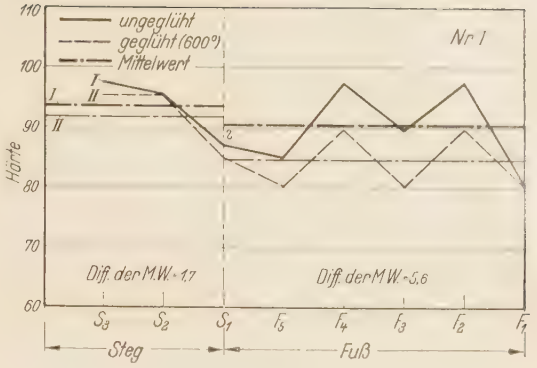
Tafel VI. Schienenprofil 8.

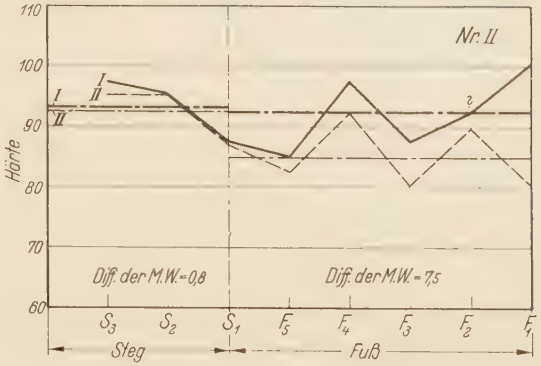


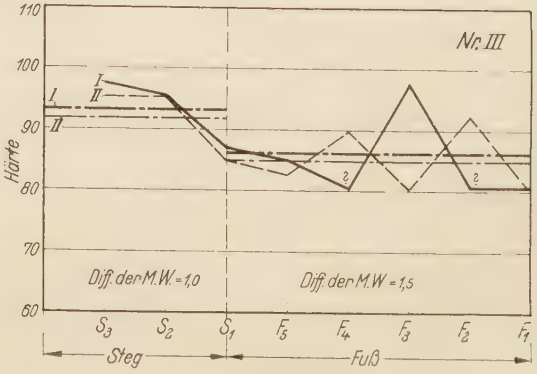




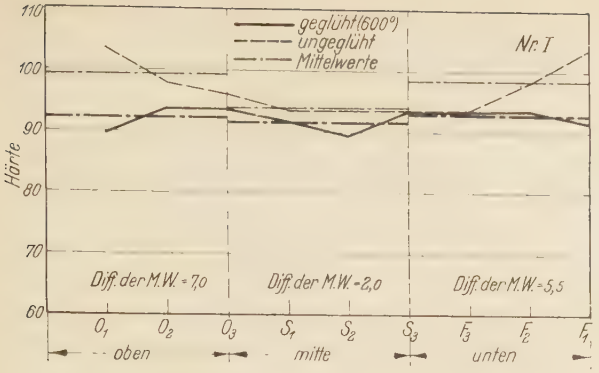
Tafel VII. Schienenprofil S 49.

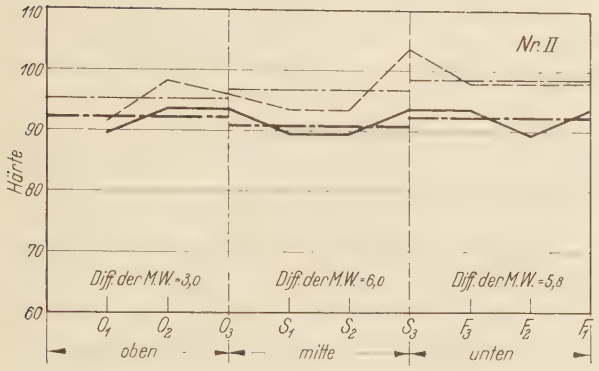


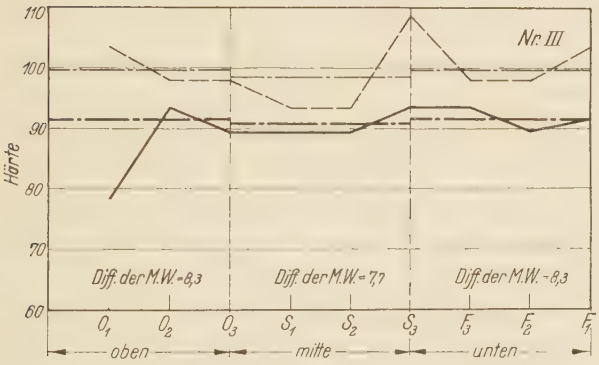


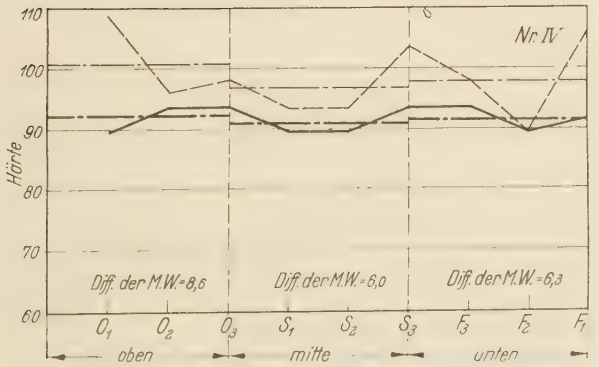


Tafel VIII. Baueisenprofil NP 8/8.

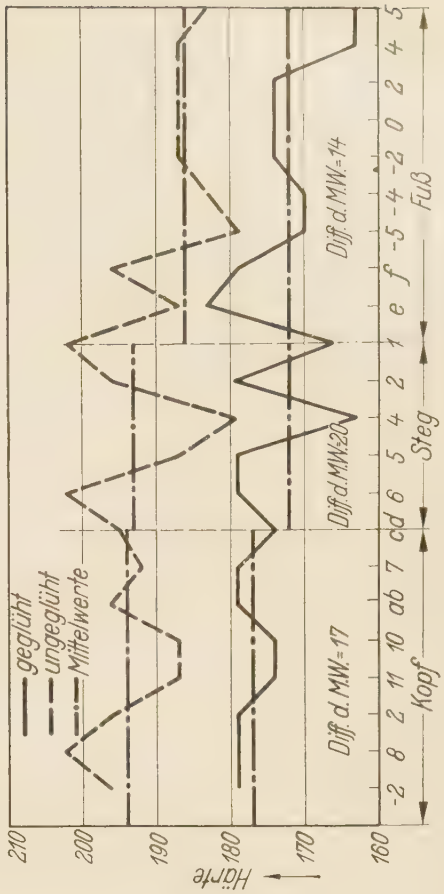




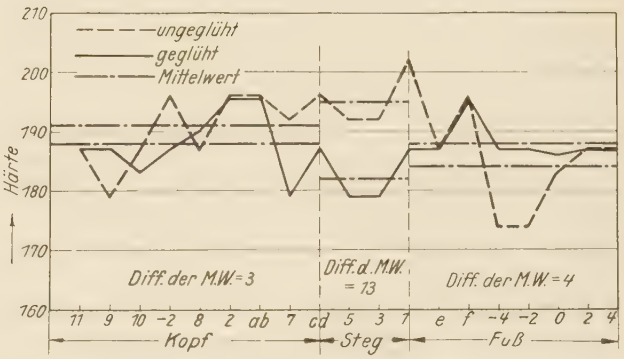




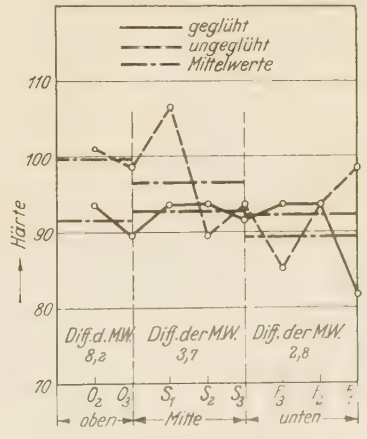
Tafel IX. Baueisenprofil NP 20 ⊏.



Tafel X. I. Glühversuch bei 770° C von Schienenprofil S 49.



Tafel XI. II. Glühversuch bei 780° C von Schienenprofil S 49.



Tafel XII. Glühversuch bei 770 C von Baueisenprofil NP 20 ⊏.

nung auf Glühtemperatur ca. ½ Stunde derselben ausgesetzt; auch erfolgte danach die Abkühlung an der Luft mit einer Abkühlungsgeschwindigkeit von ca. 5 °/Min. bei dem Profil S 49, bzw. ca. 3,8 °/Min. bei dem Profil NP 20 ⊏. Die Ergebnisse dieser drei Sonderglühversuche sind in den Kurventafeln X bis XII dargestellt.

Das Ausglühen, vor allem bei den komplizierten Schienenprofilen S 49 und Profil 8, bietet insofern Schwierigkeiten, da es fast unmöglich erscheint, ein in allen Querschnitten fast ganz gleichmäßiges Ansteigen bzw. Absinken der Glühtemperatur zu gewährleisten; dies ist aber hier von besonderer Wichtigkeit, da dadurch unter ungünstigen Umständen Spannungen in das Material hineinkommen können. Dem wurde hier durch genaues Einhalten einer bestimmten Erhitzungs- bzw. Abkühlungsgeschwindigkeit soweit wie möglich Rechnung getragen.

Durch das Glühen sinken in allen Profilen die Härten. Bei der Betrachtung der Mittelwerte der Härte in den einzelnen Profilteilen vor und nach dem Glühen ergibt sich nun die Tatsache, daß bei den beiden Schienenprofilen die mittleren Stegdifferenzen der Härtewerte durchweg höher liegen, als die Kopf- und Fußdifferenzen, während bei dem untersuchten Profil NP 8/8 ⊥ der Fuß die höheren Differenzen aufweist. Bei dem Profil NP 20 ⊏ endlich ist aus den Kurven in keinem Querschnittsteil eine besonders hervortretende Differenz der Härtemittelwerte festzustellen. Auch nach dem Glühen weisen die verschiedenen Teile der Profile z. T. noch recht erhebliche Unterschiede in der Härte auf. Es trifft dies besonders für S 49, NP 8/8 ⊥ zu, bei denen die Fußteile niedrige Werte zeigen.

VIII. Metallographische Gefügeuntersuchung des Ausgangsmaterials. Korngrößenmessungen.

Es ist für die vorliegende Untersuchung wesentlich, den Gefügeaufbau des Ausgangsmaterials in Bezug auf die Ferrit- und Perlitausbildung einer Betrachtung zu unterziehen, zumal, da siliziertes und unsiliziertes Material vorliegt. Bei den Schienenprofilen zeigt der Kopf und der Fuß etwas überhitztes Gefüge, während der Steg gestreckte Ferritstruktur erkennen läßt. Letzteres bestätigt die früher ausgesprochene Vermutung, daß im Steg Verfestigungen infolge zu kalten Walzens aufgetreten sind, da wesentliche Mengen nichtmetallischer Einschlüsse hier nicht festgestellt werden konnten, die sonst ja die Ursache zum Auftreten von Zeilenstruktur sein können. Die Baueisenprofile zeigen in allen Querschnittsteilen ein durchaus ausgeglichenes Gefügebild.

Korngrößenmessungen.

Zur Ergänzung wurden hier noch Korngrößenmessungen nach dem Kreisverfahren von Zay-Jeffries an einzelnen Gefügebildern, wo dies mit einiger Genauigkeit möglich war, vorgenommen; jedoch konnte kein beachtenswerter Unterschied der Korngrößen in den einzelnen Querschnittsteilen ermittelt werden, auch dann nicht, als einige Profilstücke geglüht und auf evtl. Rekristallisationserscheinungen hin untersucht wurden.

IX. Einfluß der Koagulation des Zementites auf die technologischen Eigenschaften.

Im engen Zusammenhang mit der Korngröße steht die Ausbildung der Perlites, wie sie sich im Verlaufe der Abkühlung vollzieht. Der Perlit kann in dem untersuchten Walzmaterial lamellar oder auch körnig vorliegen. Die Ausbildungsform desselben ist abhängig von der jeweiligen Abkühlungsgeschwindigkeit des Materials und kann unter Umständen der Anlaß zu Festigkeitsunterschieden in demselben sein. Während bei normaler Abkühlungsgeschwindigkeit meist lamellarer Perlit vorliegt, kann bei ganz besonders langsamer Abkühlung (namentlich während des Durchganges durch Ar_2) der Perlit in körnige Form übergehen, wofür nach Untersuchungen von Hanemann und Morawe[2]) als Mindestgeschwindigkeit 2 °/min ermittelt wurden; jedoch schwanken hier die Werte für die Abkühlungsgeschwindigkeit je nachdem, ob über- oder untereutektoidischer Stahl vorliegt. Bei der Umbildung des lamellaren Perlites in den körnigen Zustand kann man nach Hanemann mit einer Verringerung der Festigkeit bis zu 25% rechnen bei entsprechender Steigerung der Dehnung. Um auch diese Möglichkeit nicht außer acht zu lassen, wurden mit je einem harten und einem weichen Profil (S 49 und NP 20 ⊏) Sonderglühversuche zwecks Untersuchung auf Zementitkoagulation vorgenommen. Da allgemein mit einer solchen zu rechnen ist, wenn Glühungen unterhalb des Perlitpunktes vorgenommen werden oder bei Glühung oberhalb desselben die Abkühlungsgeschwindigkeit eine sehr langsame ist[3]), wurde hier in der Weise vorgegangen, daß Glühungen bei 770° C und 600° C unter genauer Feststellung der betreffenden Abkühlungsgeschwindigkeit an der Luft vorgenommen wurden. Aus den weitgehendst aufgelösten Schliffbildern (bis 1200 ×) konnte sowohl in den ungeglühten, wie in den geglühten Proben in keinem Querschnittsteil der Profile das Auftreten von körnigem Zementit nachgewiesen werden, womit die Möglichkeit einer Veränderung der mechanischen Eigenschaften in dieser Richtung ausschaltet.

X. Ergänzender Bericht über Sonderkerbzähigkeit und Härtebestimmungen.

Im Verlaufe der Untersuchungen wurden ferner noch zahlreiche Bestimmungen der Kerbzähigkeitswerte des vorliegenden Materials in der Walzrichtung und quer dazu durchgeführt und dabei festgestellt, daß fast ohne Ausnahme die geringsten Kerbzähigkeitswerte bei allen Profilen im Steg vorlagen, deren Ursache auf Seigerungserscheinungen zurückzuführen war. Durch besondere Glühversuche mit diesen Kerbschlagproben konnte kein Einfluß von evtl. Verfestigung auf die Kerbzähigkeit nachgewiesen werden.

Ferner wurden die Härteversuche noch insofern ergänzt, als Härtebestimmungen an verschiedenen Stellen der Außenflächen der Profile vorgenommen und diese denjenigen im Querschnitt gegenübergestellt wurden. Ein gesetzmäßiger Zusammenhang zwischen beiden konnte jedoch nicht festgestellt werden.

[2]) Stahl u. Eisen 1913, S. 1350.

[3]) Oberhoffer: Das technische Eisen, 1925, S. 349—442.

Diskussion über die Ergebnisse und Vergleiche mit der Literatur:

Überprüft man die Ergebnisse der gesamten vorliegenden Untersuchung und vergleicht man sie mit dem vorhandenen Schrifttum über die verschiedenen Festigkeitseigenschaften im Querschnitt eines Werkstoffs und der Verteilung derselben, so ergibt sich, daß eine eindeutige Gesetzmäßigkeit über die Verteilung derselben nicht vorhanden ist, so außerordentlich wichtig auch diese vom Standpunkt der Materialprüfung und dem der Beurteilung des Herstellungsprozesses für die heutige Walztechnik wäre. In der vorliegenden Arbeit wurden diese Fragen einerseits in der Richtung des Einflusses der vorhandenen Fremdkörper, andererseits in der des verschiedenen Bearbeitungsgrades untersucht, und dabei in Übereinstimmung mit der Untersuchung von Fiek und Sachs[4]) zunächst eine Erhöhung der Sprödigkeit und Festigkeitswerte in geseigerten Querschnittszonen festgestellt, jedoch wurden die Übergangszonen eingehender durch zahlreichere Härteprüfungen untersucht mit dem Ergebnis, daß festgestellt wurde, daß die Härte sich im allgemeinen ähnlich verhält, wie die Festigkeit. Eine besondere Untersuchung der Härte in den Übergangszonen (bei dem Schienenmaterial Steg/Kopf und Steg/Fuß und bei den Baueisenprofilen Steg/Flanschen) ergab jedoch keine durchschnittlich höheren Härtewerte in denselben. Zur Ergänzung vorgenommene Kerbschlagversuche ergaben bei fast allen Profilen, daß die geringsten Kerbzähigkeitswerte im Steg vorliegen, vor allem dann, wenn die Proben senkrecht zur Walzrichtung genommen wurden.

Weiterhin ergeben die Festigkeitsprüfungen, sowie auch die Härteuntersuchungen, daß auch bei geringen Seigerungen Festigkeitsunterschiede auftreten können. Es bestätigt dies die Vermutung, daß dem jeweiligen Bearbeitungsgrad neben dem Einfluß der Seigerung hier eine große Bedeutung zukommt, und es wurden deshalb in dieser Richtung eingehendere Härteuntersuchungen am fertig gewalzten Material vorgenommen.

Das Ergebnis der abweichend großen Härtedifferenzen in einzelnen Querschnittsteilen eines Teils der Profile nach dem Glühen findet seine Erklärung in der Ungleichheit der Materialverformung und als Folge davon dem Auftreten von Verfestigungserscheinungen neben den Einflüssen von Seigerungen. Bestimmend für das Auftreten von Verfestigungen sind nach Sauerwald und Giersberg[5]) vor allem die jeweilige Walztemperatur und Formgebungsgeschwindigkeit. Bei den Schienenprofilen müssen nun die tieferen Einschnitte in das Walzgut wegen der dafür nötigen hohen Walztemperatur immer in die ersten Kaliber verlegt werden und man ist deshalb gezwungen, den Steg mit niedrigerer Temperatur fertig zu walzen, als den Kopf und Fuß. Dazu kommt noch, daß hierbei die größte Verdrängungsarbeit vom Steg nach dem Fuß zu stattfindet. Ähnliche Vorgänge sind bei dem Profil NP 8/8 ⊥ zu beobachten; hier liegen die größeren Unterschiede der mittleren Härtewerte im Fuß. Wie aus den Kalibrierungszeichnungen geschlossen werden kann, erfolgt die größte Materialverdrängung nach dem Fuß zu und demgemäß werden auch im Fuß Verfestigungserscheinungen sein, wie das auch die Versuchsergebnisse bestätigen. Durch den vorgenommenen Glühprozeß erfolgte eine Entfestigung des Materials in den betreffenden Querschnittsteilen. In dem Kurvenbild der ausgeglühten NP 20 ⊏ Profile finden sich dagegen, im Gegensatz zu den vorhergehenden Profilen, keine besonderen hervortretenden Mittelwertdifferenzen. Es bestätigt dies jedoch nur die Annahme von der Abhängigkeit derselben von der jeweiligen Materialverformung bei den anderen Profilen, insofern, daß beim Auswalzen dieses Profiles die Materialverformung und die Temperaturverteilung eine bedeutend gleichmäßigere vom Steg nach den beiden Flanschen zu ist. Der Einfluß der Seigerungen auf die einzelnen Profilzonen bleibt auch im geglühten Zustand des Materials annähernd erhalten, insofern, als die Unterschiede der Härtemittelwerte durch den Glühprozeß nicht verschwunden sind.

Unter Berücksichtigung der verschiedenen Einwirkungen, denen das Material während des gesamten Walzprozesses ausgesetzt ist, werden so besonders die möglicherweise hier auftretenden Verfestigungserscheinungen ins Auge gefaßt und durch geeignete Glühversuche tatsächlich solche in bestimmten Querschnittszonen der Profile festgestellt, deren Auftreten zu der Annahme berechtigt, daß das Material mit einer Temperatur aus dem letzten Stich kam, die nahe oder wenig unter Ar_3 lag. Da die Zonen, die Verfestigungserscheinungen aufwiesen, diejenigen sind, die während des Walzprozesses einer stärkeren Materialverdrängung und einem kälteren Fertigwalzen ausgesetzt waren, läßt erkennen, daß schwächere Profilteile infolge der größeren Abkühlungsgeschwindigkeit im letzten Stich schon das Gebiet der Kaltbearbeitung beschritten hatten, während die stärkeren mit niedriger Abkühlungsgeschwindigkeit sich noch im Warmverformungsgebiet befanden[6]), daß also die jeweilige Walztemperatur und die Verdrängungsarbeit entscheidend für die endgültigen mechanischen Eigenschaften des Werkstoffes waren. Im neueren Schrifttum wurde von Stumper[7]) ferner auf den engen Zusammenhang von Walztemperatur und Gefüge hingewiesen und, soweit es das Schienenmaterial betrifft, in gleicher Weise überhitztes Gefüge im Kopf und Zeilenstruktur im Stegquerschnitt festgestellt. Ferner wurde von Withey[8]) ein Auszug einer größeren Untersuchung von verschiedenen Walzprofilen veröffentlicht, in der er ermittelte, welche Profilzonen sich für die Feststellung bestimmter mechanischer Werte besonders eignen. Auch er betont die Bedeutung der Lage der Proben im Profil. Leider ist aus der Veröffentlichung nicht genau festzustellen, wie groß die jeweiligen Unterschiede der erhaltenen Werte der einzelnen Proben in Abhängigkeit von der Lage derselben sind.

Zusammenfassung.

In der vorliegenden Arbeit wurden am fertigen Werkstoffe Versuche vorgenommen, die die voneinander abweichenden mechanischen Werte in den einzelnen Zonen von fünf verschiedenen Walzprofilen kennzeichneten. Soweit wie möglich wurden die einzelnen Faktoren, die von entscheidendem Einfluß auf die endgültigen Festigkeitseigenschaften derselben sind, getrennt voneinander in ihrer besonderen Wirkung ermittelt und es wurde dabei nachgewiesen, welche Bedeutung gerade dem Verformungsvorgang während des Walzprozesses neben den Seigerungen zukommt, insofern bei zu tiefer Verformungstemperatur, zu starker und zu schneller Verformung auch bei als warmgewalzt bezeichnetem Material Verfestigungsreste auftreten können.

Bem.: Die in der vorliegenden Arbeit nicht mitgeteilten Einzelresultate der Versuche stehen in der handschriftlichen Ausführung zur Verfügung. Die erhaltenen Ergebnisse sind inzwischen durch weitere Untersuchungen vom Lehrstuhl für Metallkunde an der Techn. Hochschule Breslau bestätigt und erweitert worden.

[4]) Bauing. Jan. 1927. H. 5.
[5]) Zentralblatt f. Hütten- und Walzwerke. 30. (1926).
[6]) Zeitschr. f. Metallkde. 1926. H. 6.
[7]) Stahl u. Eisen 1929. H. 6, S. 177—187.
[8]) Withey Amer. Soc. for Testing Materials 1928.

Lebenslauf.

Als Sohn des Oberbergrats L. Seemann wurde ich am 4. Juni 1892 in Freiberg (Sa.) geboren. Daselbst bestand ich im Jahre 1913 das Abiturientenexamen am Gymnasium Albertinum und trat darauf in der Sächs. Maschinenfabrik von R. Hartmann als Praktikant ein, wo ich ½ Jahr tätig war. Darauf begann ich das Studium der Eisenhüttenkunde an der Bergakademie zu Freiberg und bestand daselbst, nach 1 jähriger Unterbrechung meiner Studien durch Militärdienst, im Juni 1918 das Diplom-Examen als Eisenhüttenmann. Nach 6 jähriger Tätigkeit im Oberschlesischen Industriegebiet als Assistent, Betriebsingenieur und Vertreter des Stahlwerkschefs trat ich am 1. 10. 1924 in den Schuldienst an der Staatl. Maschinenbau- und Hüttenschule in Gleiwitz O/S über, an der ich am 1. 10. 1926 zum Studienrat ernannt wurde.